

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-214034

(43) 公開日 平成9年 (1997) 8月15日

(51) Int. Cl. °	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 S 3/10			H 0 1 S 3/10	Z
G 0 2 F 1/35	5 0 1		G 0 2 F 1/35 5 0 1	
H 0 1 S 3/07			H 0 1 S 3/07	
H 0 4 B 10/17			H 0 4 B 9/00	J
10/16				

審査請求 未請求 請求項の数 5 OL (全 13 頁)

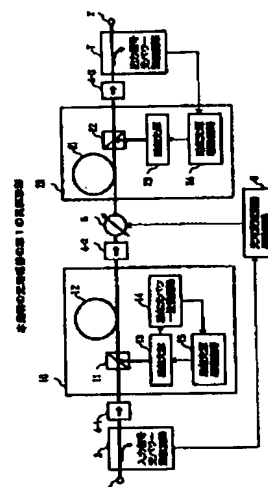
(21) 出願番号	特願平8-20060	(71) 出願人	000004226 日本電信電話株式会社 東京都新宿区西新宿三丁目19番2号
(22) 出願日	平成8年 (1996) 2月6日	(72) 発明者	福島 光師 東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本 電信電話株式会社内
		(72) 発明者	織田 一弘 東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本 電信電話株式会社内
		(72) 発明者	鳥羽 弘 東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本 電信電話株式会社内
		(74) 代理人	弁理士 古谷 史旺

(54) 【発明の名称】 光増幅器

(57) 【要約】

【課題】 小信号入力時の低雑音化と、入力信号光パワーに対する動作範囲の拡大とを同時に実現する。

【解決手段】 第1の光増幅部の励起光パワーを一定（例えば定格最大値）に制御し、第1の光増幅部と第2の光増幅部の対数利得の和が一定になるように第2の励起光パワーを制御し、第1の光増幅部と第2の光増幅部の間に接続された光可変減衰器で入力信号光パワーまたは出力信号光パワーに比例した減衰量を与え、出力信号光パワーを一定に制御する。



1

【特許請求の範囲】

【請求項1】 希土類を添加した第1および第2の光ファイバと、
 第1および第2の励起光をそれぞれ前記第1および第2の光ファイバに入力する第1および第2の励起光入力手段と、
 前記第1の光ファイバと前記第2の光ファイバとを接続する光可変減衰手段とを備え、
 前記第1の光ファイバへ波長多重された信号光が入力され、前記第2の光ファイバから増幅された信号光が出力される光増幅器において、
 前記第1の励起光パワーを一定に制御する励起光パワー制御手段と、
 前記第1の光ファイバの入力信号光パワーおよび前記第2の光ファイバの出力信号光パワーを監視し、入力信号光パワーに比例した減衰量を前記光可変減衰手段に与え、出力信号光パワーに応じて出力信号光パワーが一定になるように前記第2の励起光パワーを制御する出力制御手段とを備えたことを特徴とする光増幅器。
 【請求項2】 希土類を添加した第1および第2の光ファイバと、
 第1および第2の励起光をそれぞれ前記第1および第2の光ファイバに入力する第1および第2の励起光入力手段と、
 前記第1の光ファイバと前記第2の光ファイバとを接続する光可変減衰手段とを備え、
 前記第1の光ファイバへ波長多重された信号光が入力され、前記第2の光ファイバから増幅された信号光が出力される光増幅器において、
 前記第1の励起光パワーを一定に制御する励起光パワー制御手段と、
 前記第1の光ファイバの入力信号光パワーおよび前記第2の光ファイバの出力信号光パワーを監視し、出力信号光パワーに比例した減衰量を前記光可変減衰手段に与え、入力信号光パワーに応じて出力信号光パワーが一定になるように前記第2の励起光パワーを制御する出力制御手段とを備えたことを特徴とする光増幅器。
 【請求項3】 希土類を添加した第1および第2の光ファイバと、
 第1および第2の励起光をそれぞれ前記第1および第2の光ファイバに入力する第1および第2の励起光入力手段と、
 前記第1の光ファイバと前記第2の光ファイバとを接続する光可変減衰手段とを備え、
 前記第1の光ファイバへ波長多重された信号光が入力され、前記第2の光ファイバから増幅された信号光が出力される光増幅器において、
 前記第1の励起光パワーを一定に制御する励起光パワー制御手段と、
 前記第1の光ファイバの入力信号光パワーを監視し、そ

2

の光パワーに比例した減衰量を前記光可変減衰手段に与え、前記第2の光ファイバの出力信号光パワーを一定に制御する出力制御手段と、
 前記第1の光ファイバおよび前記第2の光ファイバから放出される自然放出光パワーを測定し、その和が一定になるように前記第2の励起光パワーを制御する利得制御手段とを備えたことを特徴とする光増幅器。
 【請求項4】 希土類を添加した第1および第2の光ファイバと、
 第1および第2の励起光をそれぞれ前記第1および第2の光ファイバに入力する第1および第2の励起光入力手段と、
 前記第1の光ファイバと前記第2の光ファイバとを接続する光可変減衰手段とを備え、
 前記第1の光ファイバへ波長多重された信号光が入力され、前記第2の光ファイバから増幅された信号光が出力される光増幅器において、
 前記第1の励起光パワーを一定に制御する励起光パワー制御手段と、
 前記第2の光ファイバの出力信号光パワーを監視し、その光パワーに比例した減衰量を前記光可変減衰手段に与え、前記第2の光ファイバの出力信号光パワーを一定に制御する出力制御手段と、
 前記第1の光ファイバおよび前記第2の光ファイバから放出される自然放出光パワーを測定し、その和が一定になるように前記第2の励起光パワーを制御する利得制御手段とを備えたことを特徴とする光増幅器。
 【請求項5】 請求項1ないし請求項4のいずれかに記載の光増幅器において、
 出力制御手段は、第1の光ファイバへ入力される信号光または第2の光ファイバから出力される信号光の内の1つの波長の光パワーを監視する手段を含むことを特徴とする光増幅器。
 【発明の詳細な説明】
 【0001】
 【発明の属する技術分野】本発明は、波長の異なる複数の光信号を多重して伝送する光ファイバ伝送路と、その損失を補償する光増幅器とを交互に多段に接続して構成される光増幅中継波長多重通信システムに用いられる光増幅器に関する。
 【0002】
 【従来の技術】光増幅中継波長多重通信システムでは、伝送路である光ファイバおよび光増幅器でそれぞれ次のような問題が生じる。光ファイバでは、信号光パワーが大きくなると、4光波混合や自己位相変調等の非線形現象が生じて信号の劣化を招く。光増幅器では、入力信号光パワーが小さくなると、光増幅器で生じる自然放出光(ASE光)が信号光に対して大きくなり信号の劣化を招く。
 【0003】このような光増幅中継波長多重通信システ

3

ムで波長多重信号光を伝送するときに、光増幅器の利得に波長依存性があると、光増幅器を通過するたびに各波長の信号光のレベル偏差が蓄積され、複数の光増幅器を通過した後はそのレベル偏差が無視できなくなる。それにより、利得の大きい波長では信号光パワーが大きくなって光ファイバで非線形現象を生じさせ、利得の小さい波長では信号光パワーが小さくなって自然放光の影響が大きくなり、ともに信号の劣化を大きくする。これらの劣化を抑えるには、各光ファイバ伝送路の損失の差によって生ずる入力信号光パワーのばらつき、あるいは光ファイバ伝送路の損失の変化に対して出力信号光パワーを一定にするとともに、光増幅器の利得の波長依存性(利得偏差)を小さくかつ一定にする必要がある。

【0004】図6は、従来の光増幅器の構成例を示す(参考文献:菅谷 他, “波長多重Erドープ光増幅器の構成法の検討”, 電子情報通信学会技術研究報告, OC S95-38)。図において、入力端子1から入力された信号光は、入力信号光パワー監視回路3、光アイソレータ4-1を介して、第1の光増幅部10”の合波器11に入力される。合波器11は、励起光源13から出力される励起光と信号光を合波して希土類添加ファイバ12に入力する。希土類添加ファイバ12の出力光は、出力信号光パワー監視回路7-1、光アイソレータ4-2を介して光可変減衰器5に入力される。入力信号光パワー監視回路3は、全入力信号光の一部を分岐して光電変換し、全入力信号光パワーに比例した電圧を出力する。出力信号光パワー監視回路7-1は、第1の光増幅部10”の出力信号光の一部を分岐して光電変換し、出力信号光パワーに比例した電圧を出力する。励起光源駆動回路15は、入力信号光パワー監視回路3および出力信号

$$G(\lambda) = \{ \sigma_e(\lambda) + \sigma_a(\lambda) \} \rho \Gamma \langle N_2 \rangle L - \sigma_s(\lambda) \rho \Gamma L \quad \dots(1)$$

で表される。

【0007】 $\langle N_2 \rangle$ は、入力励起光パワーを P^{s10} 、全入力信号光パワーを P^{s10} とし、希土類添加ファイバの入力端を基準にしたときのファイバ長手方向の位置を

$$\langle N_2 \rangle = \frac{\int_0^L N_2(P^{s10}, P^{s10}, z) dz}{L}$$

【0009】で表される。式(1)で、 $\sigma_e(\lambda)$, $\sigma_a(\lambda)$, ρ , Γ は、光ファイバにより固有に決定される係数なので、ファイバ長 L を一定にすると、対数利得 $G(\lambda)$ は平均上準位イオン密度 $\langle N_2 \rangle$ のみによって一意に決定される。次に、図6に示す第1の増幅部10”の利得の監視

$$P_1^{s10} = a_1 \cdot P_r^{s10}$$

と表される。ここで、波長多重信号光の信号数を N とすると、

4

光パワー監視回路7-1の出力電圧の対数差から第1の光増幅部10”における利得を求め、その利得が一定になるように励起光源13の出力パワーを制御する。

【0005】光可変減衰器5から出力された信号光は、第2の光増幅部20”の希土類添加ファイバ21に入力される。合波器22は、励起光源23から出力される励起光を希土類添加ファイバ21へ後方から入力する。励起光パワー監視回路27は励起光源23の出力パワーに比例した電圧を出力し、励起光源駆動回路24はその出力電圧に応じて励起光源23の出力パワーを一定に制御する。希土類添加ファイバ21の出力光は、光アイソレータ4-3、出力信号光パワー監視回路7-2を介して出力端子2に出力される。出力信号光パワー監視回路7-2は、第2の光増幅部20”の出力信号光の一部を分岐して光電変換し、出力信号光パワーに比例した電圧を出力する。光可変減衰器駆動回路6は、出力信号光パワー監視回路7-2の出力電圧に応じて出力端子2の出力信号光パワーが一定になるように光可変減衰器5の減衰量を制御する。

【0006】ここで、希土類添加ファイバ増幅器の利得偏差と利得の関係について説明する。希土類添加ファイバ増幅器における波長 λ の信号光の対数利得 $G(\lambda)$ は、波長 λ での放出断面積および吸収断面積を $\sigma_e(\lambda)$, $\sigma_a(\lambda)$ 、希土類イオン密度を ρ 、閉じ込め係数を Γ 、希土類イオンのエネルギー準位におけるレーザ上準位に励起された規格化イオン密度を N_2 、その希土類添加ファイバ長手方向の平均値(以下、平均上準位イオン密度という)を $\langle N_2 \rangle$ 、希土類添加ファイバのファイバ長を L とすると、

z とすると、

【0008】

【数1】

…(2)

視および制御について説明する。

【0010】波長 λ_i の入力信号光パワー P_i^{s10} は、波長多重信号光の全入力信号光パワー P_r^{s10} と各波長の信号光パワーの偏差 a_i を用いて

…(3)

【0011】

【数2】

5

$$\sum_{i=1}^N a_i = 1$$

(4)

6

…(4)

【0012】の関係がある。また、波長多重信号光の全出力信号光パワー $P_{T^{out}}$ は、波長 λ_i の信号光の対数利得 $G(\lambda_i)$ を用いて

$$P_{T^{out}} = P_{T^{in}} \sum_{i=1}^N a_i \exp[G(\lambda_i)]$$

【0013】

【数3】

…(5)

【0014】と表される。図6の構成では、第1の光増幅部10”の全入力信号光パワー $P_{T^{in}}$ を入力信号光パワー監視回路3で監視し、全出力信号光パワー $P_{T^{out}}$ を出力信号光パワー監視回路7-1で監視し、それらの

$$G_T = \log(P_{T^{out}}) - \log(P_{T^{in}})$$

$$= \log \left\{ \sum_{i=1}^N a_i \exp[G(\lambda_i)] \right\}$$

…(6)

【0016】と表される。波長 λ_i の信号光の対数利得 $G(\lambda_i)$ は、式(1)より平均上準位イオン密度 $\langle N_2 \rangle$ のみによって一意に決定される。したがって、光ファイバの損失変動のように各波長の信号光パワーの偏差 a_i が一定で全入力信号光パワーが変化した場合には、式(1)、(6)より波長多重信号光に対する対数利得 G_T も $\langle N_2 \rangle$ のみによって一意に決定される。逆に G_T を一定にすると $\langle N_2 \rangle$ が一定になり、各波長の信号光の対数利得 $G(\lambda_i)$ 、すなわち利得偏差も一定になる。

【0017】このように、励起光源駆動回路15では入力信号光パワー監視回路3と出力信号光パワー監視回路7-1の出力電圧の対数差から波長多重信号光に対する対数利得 G_T を求め、その利得が一定になるように励起光源13の励起光パワーを制御する。これにより、全入力信号光パワーが変化した場合でも、第1の光増幅部10”において利得および利得偏差を一定に制御することができる。

【0018】一方、第2の光増幅部20”では励起光パワーが一定であり、第1の光増幅部10”によって第2の光増幅部20”の全入力信号光パワーが一定に制御されると、式(2)より平均上準位イオン密度 $\langle N_2 \rangle$ が一

$$OSNR_T = \frac{1}{\sum_{i=1}^N \frac{NF_i B h \nu}{P_i}}$$

【0022】と表すことができる。この式(7)より、入力信号光パワーが小さい光増幅器での雑音指数が伝送路全体の光 S/N に大きく影響することがわかる。図6に示す従来の光増幅器において、励起光パワーを制御する第1の光増幅部10”では、入力信号光パワーが小さいときは利得を一定にするために励起光パワーも小さくなる。光増幅器の雑音指数は、入力端子に近い部分の反転

10 対数差から第1の光増幅部10”における利得を求めているので、波長多重信号光に対する対数利得 G_T は、

【0015】

【数4】

20 定になり、利得、利得偏差、全出力信号光パワーが一定になる。さらに、出力信号光パワー監視回路7-2で第2の光増幅部20”の全出力信号光パワーを監視し、全出力信号光パワーが所定値になるように光可変減衰器5でその全入力信号光パワーが制御される。

【0019】このように、従来の光増幅器では第1の光増幅部10”および第2の光増幅部20”ともに、利得偏差が一定になるように制御されている。また、出力信号光パワーが一定になるように光可変減衰器5で制御されるので、出力端子2では入力端子1で全入力信号光パワーが変化した場合でも、利得偏差が一定に保たれ、かつ出力信号光パワーを一定に制御することができる。

【0020】

【発明が解決しようとする課題】ところで、光増幅中継波長多重通信システムでは、j番目の光増幅器への1波あたりの入力信号光パワーを P_j 、j番目の光増幅器の雑音指数を NF_j 、プランク定数を h 、信号光の周波数を ν とすると、n段の光増幅器通過後の光帯域B内の自然放出光と信号光の比 $OSNR_T$ は、

【0021】

【数5】

…(7)

50 分布の影響が大きいため、励起光パワーが一定になるように制御した場合と比較して大きくなる。このため、式(3)で表される伝送路全体の光 S/N が小さくなり、信号の劣化を招く。一方、小信号入力時の雑音指数を改善するために第1の光増幅部10”の励起光パワーを大きく設定すると、入力信号光パワーが大きくなったときに励起光パワーが不足して第1の光増幅部10”の利得を

一定に制御できず、動作範囲を拡大することができなかった。

【0023】すなわち、従来の光増幅器では、許容最大入力信号パワーを大きくすると小信号入力時に雑音指数が悪く、多段に接続した場合に自然放光の蓄積による信号劣化を招く。また、小信号入力時の雑音指数を改善するために第1の光増幅部の励起光パワーを大きくすると、最大許容入力信号パワーが小さくなり光増幅器の動作範囲が制限される。

【0024】本発明は、小信号入力時の低雑音化と、入力信号光パワーに対する動作範囲の拡大とを同時に実現することができる光増幅器を提供することを目的とする。

【0025】

【課題を解決するための手段】本発明の光増幅器は、第1の光増幅部の励起光パワーを一定（例えば定格最大値）に制御することにより、入力信号光パワーが小さいときの雑音指数を改善することができる。また、第1の光増幅部と第2の光増幅部の対数利得の和が一定になるように第2の励起光パワーを制御することにより、入力信号光パワーが変化して第1の光増幅部の利得が変化してもそれを補償することができる。これにより、利得偏差を一定にすることができる。

【0026】また、第1の光増幅部と第2の光増幅部の間に接続された光可変減衰器で入力信号光パワーまたは出力信号光パワーに比例した減衰量を与えることにより、出力信号光パワーを一定に制御することができる。また、入力信号光パワーが大きくなった場合には、第1の光増幅部の飽和による利得減少と光可変減衰器の減衰量により、第2の光増幅部への入力信号光パワーが小さくなるので、従来構成と比較して光増幅器の動作範囲を拡大させることができる。

【0027】

【発明の実施の形態】

（第1の実施形態）図1は、本発明の光増幅器の第1の実施形態を示す。図において、入力端子1から入力された信号光は、入力信号光パワー監視回路3、光アイソレータ4-1を介して、第1の光増幅部10の合波器11に入力される。合波器11は、励起光源13から出力される励起光と信号光を合波して希土類添加ファイバ12

に入力する。励起光パワー監視回路14は励起光源13の出力パワーに比例した電圧を出力し、励起光源駆動回路15はその出力電圧に応じて励起光源13の出力パワーを一定に制御する。なお、励起光源13の出力パワーは例えば定格最大値に設定される。希土類添加ファイバ12の出力光は、光アイソレータ4-2を介して光可変減衰器5に入力される。入力信号光パワー監視回路3は、全入力信号光の一部を分岐して光電変換し、全入力信号光パワーに比例した電圧を出力する。光可変減衰器駆動回路6は、入力信号光パワー監視回路3の出力電圧に応じて光可変減衰器5の減衰量を制御する。

【0028】光可変減衰器5から出力された信号光は、第2の光増幅部20の希土類添加ファイバ21に入力される。合波器22は、励起光源23から出力される励起光を希土類添加ファイバ21へ後方から入力する。希土類添加ファイバ21の出力光は、光アイソレータ4-3、出力信号光パワー監視回路7を介して出力端子2に出力される。出力信号光パワー監視回路7は、出力信号光の一部を分岐して光電変換し、出力信号光パワーに比例した電圧を出力する。励起光源駆動回路24は、出力信号光パワー監視回路7の出力電圧に応じて励起光源23の出力パワーを制御する。

【0029】なお、図1のように第1の光増幅部10では前方励起、第2の光増幅部20では後方励起が好ましいが、それに限定されるものではない。以下に示す各実施形態においても同様である。次に、本実施形態の動作原理について説明する。ここでは、光増幅器の入力パワーの変動は、伝送路の損失変化のように全波長一様にパワーが変動するものと仮定する。

【0030】第1の光増幅部10および第2の光増幅部20の波長 λ_i の信号光の対数利得をそれぞれ $G_1(\lambda_i)$ 、 $G_2(\lambda_i)$ とし、光可変減衰器5の減衰量を A_{11} とし、波長多重数を N とし、入力端子1での波長 λ_i の入力信号光パワー P_i^{s10} を式(3)のように波長多重信号光の全入力信号光パワー P_T^{s10} と各波長の信号光パワーの偏差 a_i で表すと、出力端子2での全出力信号光パワー P_T^{s00} は、

【0031】

【数6】

$$\begin{aligned} P_T^{s00} &= \sum_{i=1}^N \exp[G_1(\lambda_i)] \exp[G_2(\lambda_i)] \frac{1}{A_{11}} P_i^{s10} \\ &= \frac{1}{A_{11}} P_T^{s10} \sum_{i=1}^N a_i \exp[G_1(\lambda_i) + G_2(\lambda_i)] \quad \cdots(8) \end{aligned}$$

【0032】と表される。ここで式(1)を用いると、式(8)における波長 λ_i の信号光の対数利得 $G_1(\lambda_i)$ 、 G_2

(λ_i)の和は、

$$\begin{aligned} &G_1(\lambda_i) + G_2(\lambda_i) \\ &= \{\sigma_s(\lambda_i) + \sigma_a(\lambda_i)\} \rho \Gamma(<N_2^s>L_1 + <N_2^s>L_2) \end{aligned}$$

$$-\sigma_s(\lambda_i)\rho\Gamma(L_1+L_2)$$

と表される。なお、 $\langle N_1^1 \rangle$ 、 $\langle N_2^2 \rangle$ は、希土類添加ファイバ12、21の平均上準位イオン密度であり、各光増幅部の励起状態を表す。 L_1 、 L_2 は、希土類添加ファイバ12、21のファイバ長である。式(9)で $\sigma_s(\lambda_i)$ 、 $\sigma_a(\lambda_i)$ 、 ρ 、 Γ は希土類添加ファイバ固有の

$$A_{11} = \alpha P_1^{s_{11}}$$

与えられ、全出力信号光パワー $P_1^{s_{out}}$ は、
【0034】

$$P_1^{s_{out}} = \frac{1}{\alpha} \sum_{i=1}^N a_i \exp[G_1(\lambda_i) + G_2(\lambda_i)]$$

【0035】と表される。ここで、各波長の信号光パワーの偏差 a_i が一定なので、式(9)、(11)より平均上準位イオン密度の積分値の和 $\langle N_1^1 \rangle L_1 + \langle N_2^2 \rangle L_2$ が一定の場合には、対数利得の和 $G_1(\lambda_i) + G_2(\lambda_i)$ が一定になり、全出力信号光パワーと利得偏差を一定にできる。

【0036】本実施形態の構成では、入力信号光パワー監視回路3で全入力信号光パワーを測定し、それに比例した減衰量が光可変減衰器駆動回路6によって光可変減衰器5に与えられる。さらに、出力信号光パワー監視回路7で測定された全出力信号光パワーが一定になるように、第2の光増幅部20の励起光パワーが制御される。すなわち、第1の光増幅部10において、入力信号光パワーの変化により平均上準位イオン密度 $\langle N_1^1 \rangle$ が変化しても、それを補償するように第2の光増幅部20の励起光パワーを制御することにより各光増幅部の対数利得の和が一定になり、全出力信号光パワーと利得偏差を一定にできる。このように、第1の実施形態における出力信号光パワー監視回路7は、第1の光増幅部10と第2の光増幅部20の対数利得の監視回路として動作することになる。

【0037】また、本実施形態の構成では、第1の光増幅部10の励起光源13が最大出力に制御されるので、小信号入力時の雑音指数を改善することができる。また、入力信号光パワーが大きくなった場合でも、第1の光増幅部10の飽和による利得の減少と、光可変減衰器5における減衰量により第2の光増幅部20への入力信号光パワーが小さくなるので、第2の光増幅部20の励起光パワーの増加を緩和することができる。すなわち、従来構成に比べて、入力信号光パワーに対する動作範囲を拡大させることができる。

【0038】(第2の実施形態)図2は、本発明の光増幅器の第2の実施形態を示す。本実施形態では、入力信号光パワー監視回路3の出力を第2の光増幅部20の励起光源駆動回路24に接続し、入力信号光パワーに応じて第2の光増幅部20の励起光パワーを制御する。また、出力信号光パワー監視回路7の出力を光可変減衰器駆動回路6に接続し、出力信号光パワーに応じて光可変

…(9)

係数であり、ファイバ長 L_1 、 L_2 は一定であるので、波長 λ_i の信号光に対する各光増幅部の対数利得 $G_1(\lambda_i)$ 、 $G_2(\lambda_i)$ は、それぞれの平均上準位イオン密度 $\langle N_1^1 \rangle$ 、 $\langle N_2^2 \rangle$ によって一意に決定される。

【0033】光可変減衰器5の減衰量 A_{11} が
…(10)

【数7】

…(11)

減衰器5の減衰量を制御する。その他は第1の実施形態と同様である。このような構成においても、出力信号光パワーと利得偏差が一定になるように制御することができ

【0039】(第3の実施形態)図3は、本発明の光増幅器の第3の実施形態を示す。第1の実施形態では、第1の光増幅部10と第2の光増幅部20の対数利得の監視回路として出力信号光パワー監視回路7を用いた。本実施形態では同様の監視回路として、各光増幅部の希土類添加ファイバ12、21の側方から放出される自然放出光のファイバ長手方向の積分値を光電変換し、それに比例した電圧を出力する励起状態監視回路16、25を用いる。励起状態監視回路16、25の出力電圧は、加算回路26で加算されて第2の光増幅部20'の励起光源駆動回路24に入力される。励起光源駆動回路24は、励起状態監視回路16、25の出力電圧の和が一定になるように励起光源23の出力パワーを制御する。その他の構成は第1の実施形態と同様である。ただし、出力信号光パワーは、入力信号光パワー監視回路3で測定された全入力信号光パワーに比例した減衰量を光可変減衰器5に与えることにより一定に制御される。

【0040】自然放出光は、レーザ上準位に励起された規格化イオン密度 N_2 に比例するので、そのファイバ長手方向の積分値をフォトディテクタで検出すると、フォトディテクタの出力は平均上準位イオン密度 $\langle N_2 \rangle$ に比例する。また、平均上準位イオン密度 $\langle N_2 \rangle$ と対数利得の間には式(1)で表される関係があるので、自然放出光のファイバ長手方向の積分値を測定することにより対数利得を求めることができる。そこで、第1の光増幅部10'および第2の光増幅部20'の励起状態監視回路12、25で、ファイバ側方から放出される自然放出光の積分値を測定し、その出力の和が一定になるように第2の光増幅器20'の励起光パワーを制御する。これにより、第1の光増幅部10'および第2の光増幅部20'の対数利得の和が一定となり、式(11)に示すように利得偏差を一定にすることができる。

【0041】なお、ファイバ側方から放出される自然放出光により利得を測定する方法については、文献(H

Masuda and K. Aida, "Gain Monitoring of Erbium-Doped Fiber Amplifier by Detecting Spontaneous Emission", IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 5, No. 9, pp. 1017-1019, 1993) に詳細に記述されている。

(第4の実施形態) 図4は、本発明の光増幅器の第4の実施形態を示す。

【0042】本実施形態では、出力信号光パワー監視回路7の出力を光可変減衰器駆動回路6に接続し、出力信号光パワーに応じて光可変減衰器5の減衰量を制御する。その他は第3の実施形態と同様である。このような構成においても、出力信号光パワーと利得偏差が一定になるように制御することができる。

(第5の実施形態) 図5は、本発明の光増幅器の第5の実施形態を示す。

【0043】本実施形態は、第1の実施形態の入力信号光パワー監視回路3および出力信号光パワー監視回路7において、入力信号光および出力信号光からそれぞれ所定の波長を分離する光帯域通過フィルタ8を備え、その光パワーのみを選択的に監視する構成としたものである。第1の実施形態では、全入力信号光パワーを監視する構成であるので、光ファイバ伝送路の損失変動による全入力信号光パワーの変動と、送信器の故障等による波長多重数の変化による全入力信号光パワーの変動とを区別することができない。波長多重数が変化した場合には、個々の波長の入力信号光パワーは変化しないので、光可変減衰器5の減衰量、第1の光増幅部10および第2の光増幅部20の対数利得の和を一定にし、個々の波長の出力信号光パワーおよび利得偏差を一定にしなければならない。しかし、第1の実施形態の構成では、全入力信号光パワーに比例して光可変減衰器5の減衰量を制御しており、波長多重数が変化した場合に個々の波長の入力信号光パワーは変化していないにもかかわらず、減衰量が変化し出力信号光パワーが変化する。本実施形態の構成は、この問題点を解決することができる。

【0044】すなわち、入力信号光パワー監視回路3'では所定の波長の信号光パワーを選択的に監視するので、波長多重数が変化しても入力信号光パワー監視回路3'の出力は変化せず、光可変減衰器5の減衰量も変化しない。また、式(1)に示すように、利得は平均上準位イオン密度 $\langle N_2 \rangle$ のみにより決定されるので、所定の波長の利得が一定の場合には $\langle N_2 \rangle$ が一定になり利得偏差も一定になる。このため、出力信号光パワー監視回路7'で所定の波長の信号光パワーを選択的に監視しそれが一定になるように制御しても、全出力信号光パワーを監視する場合と同様に、出力信号光パワーおよび利得偏差を一定にすることができる。一方、光ファイバ伝送路の損失変動等の全波長同時に入力信号光パワーが変動する場合には、所定の波長の信号光パワーを監視する構

成でも、第1の実施形態と同様に出力信号光パワーおよび利得偏差を一定にすることができる。

【0045】ところで、本実施形態は第1の実施形態に対応させたものであるが、第2、第3および第4の実施形態においても同様に適用することができる。すなわち、各実施形態において、所定の波長の光パワーを選択的に監視する入力信号光パワー監視回路3'および出力信号光パワー監視回路7'を備えることにより、波長多重数の変動に対しても個々の波長の出力信号光パワーおよび利得偏差を一定にすることができる。

【0046】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の光増幅器は、出力信号光パワーおよび利得偏差を一定にできるとともに、入力信号光パワーが小さいときの雑音指数を改善することができる。さらに、入力信号光パワーが大きくなっても第2の光増幅部への入力信号光パワーを小さくできるので、従来構成と比較して光増幅器の動作範囲を拡大させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の光増幅器の第1の実施形態を示すブロック図。

【図2】本発明の光増幅器の第2の実施形態を示すブロック図。

【図3】本発明の光増幅器の第3の実施形態を示すブロック図。

【図4】本発明の光増幅器の第4の実施形態を示すブロック図。

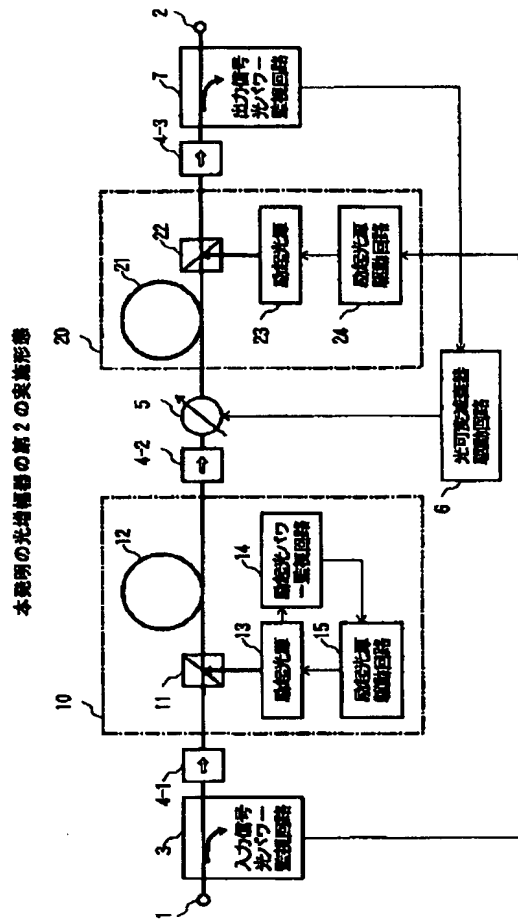
【図5】本発明の光増幅器の第5の実施形態を示すブロック図。

【図6】従来の光増幅器の構成例を示すブロック図。

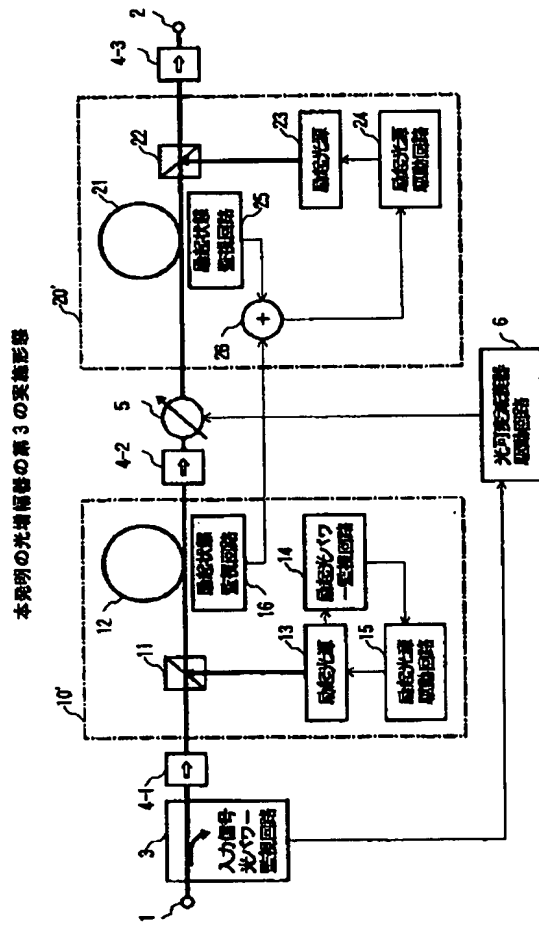
【符号の説明】

- 1 入力端子
- 2 出力端子
- 3 入力信号光パワー監視回路
- 4 光アイソレータ
- 5 光可変減衰器
- 6 光可変減衰器駆動回路
- 7 出力信号光パワー監視回路
- 8 光帯域通過フィルタ (BPF)
- 10 第1の光増幅部
- 11, 22 合波器
- 12, 21 希土類添加ファイバ
- 13, 23 励起光源
- 14, 27 励起光パワー監視回路
- 15, 24 励起光源駆動回路
- 16, 25 励起状態監視回路
- 20 第2の光増幅部
- 26 加算回路

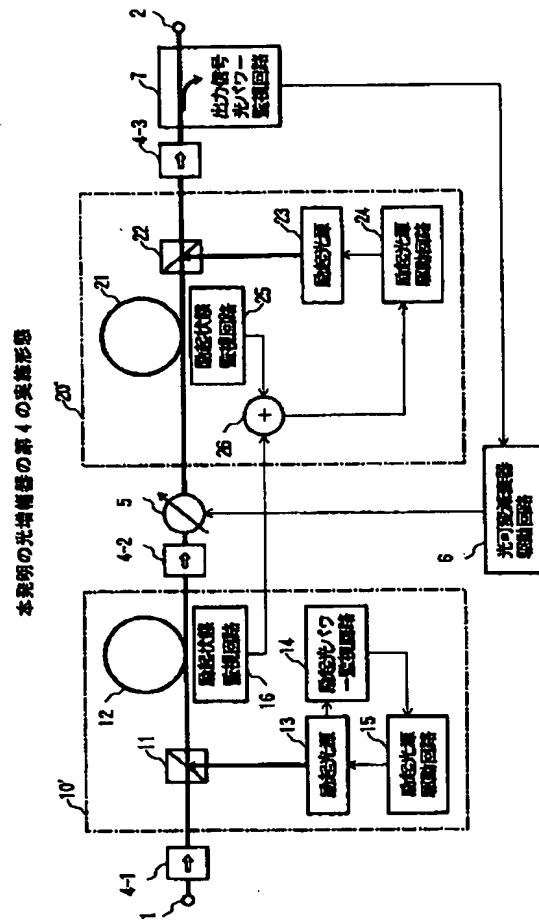
【図2】



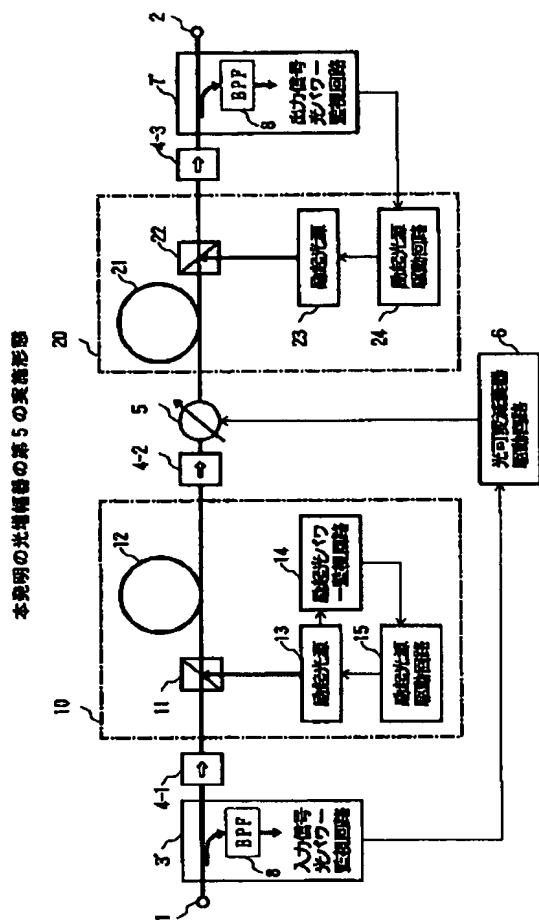
【図3】



【図4】



【図5】



【図6】

